

рекристаллизации в сильно деформированных структурах. Улучшение низкой термодинамической движущей силы для образования фазы  $L1_0$  в системе Fe-Ni, которая считалась предельным ограничивающим фактором для достижения фазы  $L1_0$  [3], было достигнуто здесь за счет небольших добавок легирующих элементов. Эти модификации сплава были выбраны, в частности, на основании имеющихся экспериментальных и теоретических данных [4].

В дополнение к экспериментальной работе, были проведены первопринципные расчеты с использованием функциональной теории электронной плотности процессов фазового образования в системе Fe-Ni. Например, результаты моделирования спиновой структуры, намагниченности насыщения и др. для сплава с составом  $Fe_{2-x-y}Ni_xM_y$  ( $M = Al, P, S, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co$ ) приведены в [5]. Допирование различных элементов позволяет стабилизировать структуру, увеличить количество фазы  $L1_0$  в исходной матрице сплава Fe-Ni, улучшить магнитные свойства. Некоторые из этих элементов включены в расчеты чисто из научного любопытства, но большинство из них взяты из экспериментальных работ на эту тему. Например, в [6] было высказано предположение, что сера положительно влияет на образование фазы  $L1_0$ . Добавление фосфора для расчета возможных свойств тетраэдрита было обусловлено тем, что метеориты могут содержать незначительные количества фазы  $(Fe, Ni)_3P$ , которые, в свою очередь, могут влиять на формирование фазы  $L1_0$ .

Целью данной работы является изучение магнитных свойств и микроструктуры сплава Fe-Ni, легированного 3d-металлами, после интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением (НРТ).

Авторы благодарят проект Российского научного фонда № 19-72-00047 и российский академический проект 5-100 Балтийского федерального университета им. И. Канта.

Список публикаций:

- [1] B. Zhang, L. Lu, M. Lai, *Phys. B Condens. Matter.*, 325, 120-129 (2003).
- [2] K. Detemple, O. Kanert, J. De Hosson, K. Murty, *Phys. Rev. B*, 52, 125-133 (1995).
- [3] J. Liu, K. Barmak, *Journal of Vacuum Science & Technology A Vacuum Surfaces and Films*, 33, 021510 (2015).
- [4] H.L. Skriver, *Databases CAMP* (2004).
- [5] P. Manchanda, R. Skomski, N. Bordeaux, L.H. Lewis, A. Kashyap, *Journal of Applied Physics*, 115, 17A710 (2014).
- [6] L. Ma, D.B. Williams, J.I. Goldstein, *J. Phase Equilib.*, 19, 299 (1998).

## **Магнитные и магнитооптические свойства трехслойных пленок DyCo/Bi/NiFe**

**Волченко Елизавета Николаевна**

**Косырев Николай Николаевич**

**Сибирский федеральный университет**

**Патрин Геннадий Семенович**

[envolchenko@yandex.ru](mailto:envolchenko@yandex.ru)

В настоящее время сплавы редкоземельного / переходного металлов являются объектом активных исследований. Интерес к данному типу сплавов обусловлен, прежде всего, возможностью их практического применения при создании носителей информации с высокой плотностью записи, новых типов магниторезистивной памяти и высокочувствительных сенсоров магнитного поля, для которых характерны надежность и малое потребление энергии [1]. Кроме того, структуры, содержащие полуметаллическую прослойку Bi, на сегодняшний день слабо изучены. В связи с этим, исследования свойств трехслойных пленок DyCo/Bi/NiFe являются актуальными.

Трехслойные пленки DyCo/Bi/NiFe были получены методом термического осаждения в вакууме. В качестве подложки было использовано покровное стекло. Толщина слоя Bi варьировалась от 0 до 4 нм.

В данной работе с использованием магнитооптического эффекта Керра были исследованы температурные зависимости намагниченности для различных толщин прослойки Bi. Было показано, что поведение намагниченности зависит от толщины слоя висмута в пленках. При комнатной температуре (около 300 K) для образцов с толщиной слоя висмута  $d(Bi) = 0$  нм и 4 нм петли гистерезиса имеют прямоугольную форму, а для образца с  $d(Bi) = 3$  нм петля гистерезиса имеет двухступенчатую форму (рис. 1). Согласно работе [2], двухступенчатые петли гистерезиса наблюдаются при неоднородном перемагничивании магнитомягкого и магнитожесткого слоев, а прямоугольные – при наличии параллельных компонент намагниченности в магнитных слоях. Полученные данные можно объяснить существованием обменного взаимодействия между магнитными слоями.

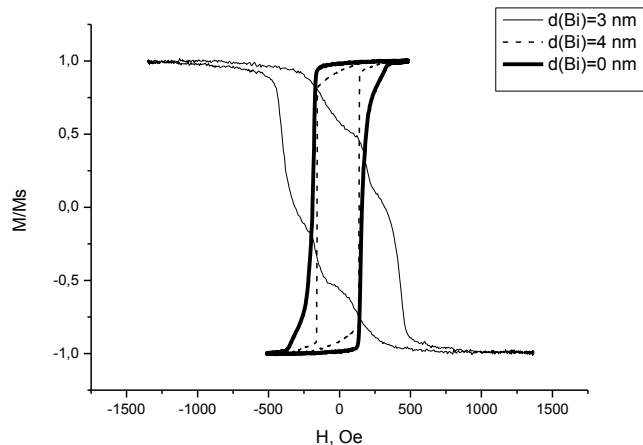


рис.1. Петли гистерезиса пленок DyCo/Bi/NiFe с разной толщиной слоя Bi вблизи комнатной температуры

Также было получено, что с уменьшением толщины Bi влияние магнитомягкого слоя на магнито жесткий возрастает, это означает, что растет обменное взаимодействие. Также падает коэрцитивная сила, что может быть связано с тем, что магнитомягкий слой сильнее подмагничивает магнито жесткий. Другой причиной уменьшения коэрцитивной силы может быть образование интерфейса. Как показано в работе [3], интерфейс висмут-пермаллой не влияет на магнитные свойства структуры. А в случае интерфейса DyCo-висмут могут образовываться соединения – пниктогениды, которые могут оказывать влияние на общее магнитное состояние.

В зависимости от толщины слоя Bi точка компенсации может как существовать и смещаться по температурной оси (при толщине висмута  $d(\text{Bi}) > 0$  нм), так и вовсе отсутствовать (при  $d(\text{Bi}) = 0$  нм). В первом случае взаимодействие между слоями DyCo и NiFe носит антиферромагнитный характер. Во втором случае, когда точка компенсации отсутствует, мы имеем дело с ферромагнитным взаимодействием между слоями.

Список публикаций:

- [1] Огнев, А. В. Анизотропия и микромагнитная структура низкоразмерных ферромагнетиков: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.11 / Огнев Алексей Вячеславович. – Владивосток, 2016. – С. 276.  
 [2] Звездин, К. А. Особенности переманичивания трехслойных наноструктур / К. А. Звездин // Физика твердого тела. – 2000. – Т. 42, № 1. – С. 116–120.  
 [3] Патрин, Г. С. Влияние интерфейса на магнитное состояние в двухслойных пленках системы Fe–Bi / Г. С. Патрин, В. Ю. Яковчук, С. А. Яриков и др. // Письма в ЖТФ. – 2019. – Т. 45, № 10.

## Магнитные свойства сплавов $\text{Fe}_2\text{NiX}$ ( $\text{X} = \text{Cr}, \text{Co}$ ), подвергнутых интенсивной пластической деформации кручением под высоким давлением

<sup>1</sup>Гаврилова Мария Алексеевна

<sup>1,2</sup>Таскаев Сергей Валерьевич, <sup>3</sup>Гундеров Дмитрий Валерьевич, <sup>1,2,4</sup>Ульянов Максим Николаевич

<sup>1</sup>Челябинский государственный университет

<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

<sup>3</sup>Институт физики молекул и кристаллов РАН

<sup>4</sup>Балтийский федеральный университет имени И. Канта

[mx-39@yandex.ru](mailto:mx-39@yandex.ru)

XXI век – век технического прогресса, требующего большого количества материалов со специальными свойствами, а также век, когда люди начали принимать меры по сохранению редких природных ресурсов. Сочетание этих двух противоположностей заставляет ученых со всего мира работать над созданием материалов с необходимыми параметрами из элементов, которые широко распространены на Земле. В настоящее время постоянные магниты пользуются большим спросом, и, следовательно, существует необходимость в создании таких материалов, которые не будут включать редкоземельные элементы [1].

Одним из методов получения материалов с заданными магнитными и структурными свойствами является интенсивная пластическая деформация. Интенсивная пластическая деформация может быть выполнена различными способами. В этой работе мы сообщаем о влиянии интенсивной пластической деформации при кручении под высоким давлением (НПТ) на магнитные свойства перспективных материалов для создания